

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ  
KATEDRA ČÁSTÍ A MECHANISMŮ STROJŮ



**Automatická vrata**

Automatic Gate

Student:

Pavel Stratil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Ostrava 2009



### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

### **Anotace bakalářské práce**

STRATIL, P. Automatická vrata. Ostrava: Katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 28 s.

Bakalářská práce, vedoucí Pišťáček, D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem automatických vrat pro vjezd do areálu s průjezdnou šířkou 4 m. V úvodu je popis umístění vrat, dále průzkum trhu s uvedením použitelných variant vrat a jejich pohonů. Návrh vrat je proveden podle požadavků na dlouhou životnost s minimální deformací vrat a snadnou automatizací a údržbu. Pevnostní výpočty se týkají především sloupků a zavěšení křídla vrat.

### **Anotation of Thesis**

STRATIL, P. Automatic gate. Ostrava: Department of Machine Parts and Mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 28 s.

Thesis, head Pišťáček, D.

The thesis deals with an engineering design of automatic gate for entrance to an areal with width 4 m. Description of placing gate and the market research with a summary of usefull variants and drives comes out in the introduction. Engineering design of gate is done in accordance with demand for long lifetime with minimal gate deformation and easy automationable and maintenance. The strength of calculation concern first of all poles and hinges of gate wing.

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Průzkum trhu .....	11
2.1 Vrata .....	11
2.2 Pohony.....	13
2.3 Bezpečnost .....	15
3. Koncepce .....	16
3.1 Varianta č.1 - skládací vrata.....	16
3.2 Varianta č.2 - dvoukřídla vrata.....	17
4. Pevnostní výpočty .....	18
4.1 Hmotnost a poloha těžiště křídla vrat.....	18
4.2 Síly působící na závěsy .....	19
4.2.1 Dimenzování závěsu .....	20
4.3 Síly působící na sloupek.....	24
4.3.1 Dimenzování sloupku.....	24
4.4 Uchycení pohonu.....	24
4.4.1 Kontrola délky svaru plechu .....	25
4.4.2 Výpočet velikosti šroubů.....	25
4.5 Vliv větru.....	26
5. Závěr.....	27
6. Seznam použité literatury .....	28

### Přílohy:

- č.v.: BP – 00 – 0, Automatická vrata
- č.v.: BP – 00.01 – 0, Levé křídlo

## Seznam použitého značení

$m$	[kg]	Hmotnost
$m_k$	[kg]	Hmotnost křídla vrat
$m_p$	[kg]	Hmotnost plechu na křídle vrat
$m_r$	[kg]	Hmotnost nosného rámu vrat
$y_T$	[mm]	Poloha těžiště křídla vrat v ose y, tedy svislé
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	Gravitační zrychlení
$d_c$	[mm]	Průměr čepu závěsu
$R_e$	[MPa]	Mez kluzu materiálu
$R_{Ax}$	[N]	Reakce v závěsu A ve směru x
$R_{Ay}$	[N]	Reakce v závěsu A ve směru y
$R_{Bx}$	[N]	Reakce v závěsu B ve směru y
$k_s$	[-]	Koeficient statické bezpečnosti
$a$	[mm]	Velikost svaru závěsu
$l_s$	[mm]	Délka svaru závěsu
$\tau_s$	[MPa]	Napětí ve svaru závěsu
$M_{ks}$	[Nm]	Krouticí moment ve svaru závěsu
$W_k$	[mm <sup>3</sup> ]	Modul odporu materiálu v krutu
$M_{os}$	[Nm]	Ohybový moment ve svaru závěsu
$\sigma_s$	[MPa]	Ohybové napětí ve svaru závěsu
$\sigma_{red\ s}$	[MPa]	Redukované napětí ve svaru závěsu
$\alpha$	[-]	Součinitel svarového spoje
$\alpha_t$	[-]	Součinitel svarového spoje ve smyku
$k_{s_s}$	[-]	Součinitel statické bezpečnosti svaru závěsu
$d_c$	[mm]	Průměr čepu závěsu
$D_k$	[mm]	Vnější průměr kroužku v závěsu
$d_k$	[mm]	Vnitřní průměr kroužku v závěsu
$p_k$	[MPa]	Tlak v kroužku v závěsu
$M_{tz}$	[Nm]	Moment tření v závěsu
$M_o$	[Nm]	Ohybový moment ve sloupku
$D_s$	[mm]	Vnější průměr sloupku
$d_s$	[mm]	Vnitřní průměr sloupku
$x_{tk}$	[Nm]	Vzdálenost těžiště vrat od osy sloupku

$M_{kp}$	[Nm]	Krouticí moment vyvolaný pohonem
$F_p$	[N]	Tažná síla pohonu
$F_{px}$	[N]	Tažná síla pohonu v ose x
$F_{py}$	[N]	Tažná síla pohonu v ose y
$l_{up}$	[mm]	Vzdálenost uchycení pohonu od závěsu
$\alpha_p$	[°]	Úhel mezi pohonem a křídlem vrat
$l_{sp}$	[mm]	Délka svaru plechu držícího pohon na sloupku
$a_{sp}$	[mm]	Velikost svaru plechu držícího pohon na sloupku
$ks_{sp}$	[mm]	Koeficient statické bezpečnosti svaru plechu držícího pohon na sloupku
$f_{zd}$	[-]	Koeficient tření mezi držákem pohonu a křídlem vrat
$d_3$	[mm]	Malý průměr závitů
$S_k$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha křídla vrat
$C_x$	[-]	Součinitel odporu vzduchu ploché desky
$\rho_v$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	Měrná hmotnost vzduchu
$v_v$	[m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost větru



## 1. Úvod

Cílem této práce je navrhnout vjezdová vrata do areálu firmy Callidus Trading s.r.o., které budou odpovídat zadání. Současný stav je zachycen na obrázku 1.1. Do budoucna je plánována výstavba výrobní haly vedle hlavní budovy. Obě budovy by měly být spojeny tunelem. Vizualizace pravděpodobného vzhledu areálu je na obrázku 1.2.

Vrata by měla splňovat základní požadavky firmy, mezi které patří hlavně průjezdná šířka 4 metry.

Druhým požadavkem je zamezení výhledu do areálu, takže vrata musí být plná.

Třetím důležitým požadavkem je předimenzování sloupků a závěsů vrat. Jak je vidět na původních vratech na obrázku 1.1, jsou sloupky i závěsy zdeformovány. Tomu je nutné se vyhnout a zaměřit se na tato místa.

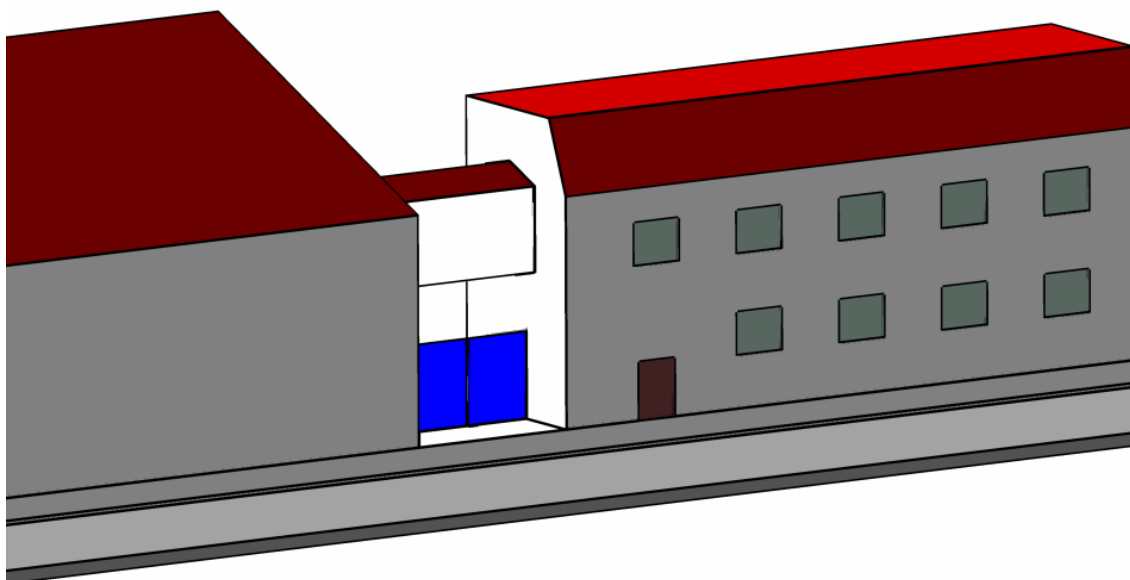
Zanedbán je výpočet hloubky zapuštění sloupku do země. Po konzultaci byla doporučena hloubka zapuštění sloupku 800 mm.

Na základní konstrukci vrat je nutné připevnit pohony pro jejich automatické ovládání. Pohony by měly být vhodné pro otevírání daného typu vrat, měly by spolehlivě pracovat za všech povětrnostních podmínek a musí být snadno automatizovatelné.

Řídící elektronika vrat není předmětem řešení této práce.



Obr. 1.1 Současný stav vjezdu do areálu



Obr. 1.2 Vizualizace plánovaného vzhledu areálu

## 2. Průzkum trhu

Na trhu je mnoho firem, které nabízí zakázkové řešení vrat na míru. Na výběr je několik různých systémů zavěšení vrat a pohonů, vhodných k jejich otevírání. V požadovaném prostoru je však použití některých řešení nemožné. Vzhledem k požadavku umístění vrat mezi budovami není například možné použití posuvných vrat.

### 2.1 Vrata

Jak již bylo zmíněno, umístění vrat neumožňuje použití některých typů. Z vhodných typů se nabízí klasická vrata se zavěšením na ocelových, nebo zděných sloupcích. Tato jsou dostupná buď jako jednokřídlá nebo dvoukřídlá pro šířku vrat až 10 metrů viz obr. 2.1. Speciálním řešením jsou skládací vrata, která mají křídla složená ze dvou částí viz obr. 2.2. Dalším možným řešením je, vzhledem k uvažovanému spojení budov tunelem, použití rolovacích vrat otevíraných zdvižením viz obr. 2.3



Obr. 2.1 Dvoukřídlá automatická vrata [5]



Obr. 2.2 Skládací vrata [6]



Obr. 2.3 Rolovací vrata [7]

## 2.2 Pohony

Při volbě pohonu bylo přihlédnuto k použitelným typům vrat. Z vhodných pohonů křídlových vrat se nabízí dva typy. Pohon s otočným ramenem viz obr. 2.4, který je vhodný především pro zděné sloupky a pro křídla do délky 3 metry.

Druhým typem je pohon s pohybovým šroubem viz obr. 2.5 a 2.6. Tento je vhodný pro křídla větší délky nebo pro křídla s vyšší hmotností. Pohon má tažnou sílu až 5 000 N. Tento typ je navíc dimenzován až pro 20 cyklů otevření / zavření za hodinu, což je vhodné pro průmyslové použití. V klidovém stavu dokáže pohon blokovat otevření a není tak nutné instalovat zámky. Výhodou je i relativně snadná montáž. Pohon pomocí pohybového šroubu vysouvá a zasouvá pístnici a při vhodném umístění na sloupek pak tímto pohybem dokáže otáčet křídlem vrat.

Oba typy pohonů jsou mazány speciálním tukem, který dovoluje jejich provoz až do teploty  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Pro rolovací vrata se používá pohon se šnekovým převodem.



Obr. 2.4 Pohon s otočným ramenem [8]





Obr. 2.5 Pohon s pohybovým šroubem [8]



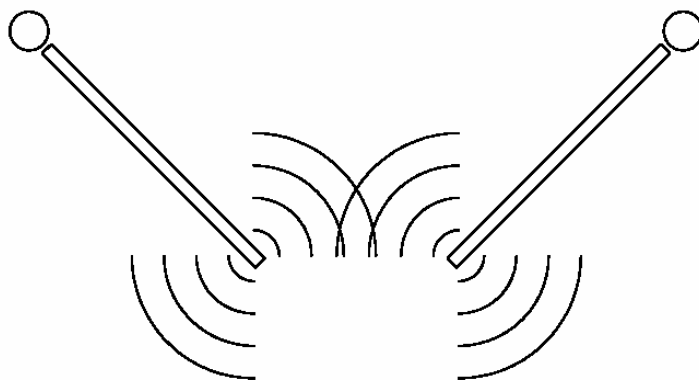
Obr. 2.6 Detail pohonu s pohybovým šroubem [8]

### 2.3 Bezpečnost

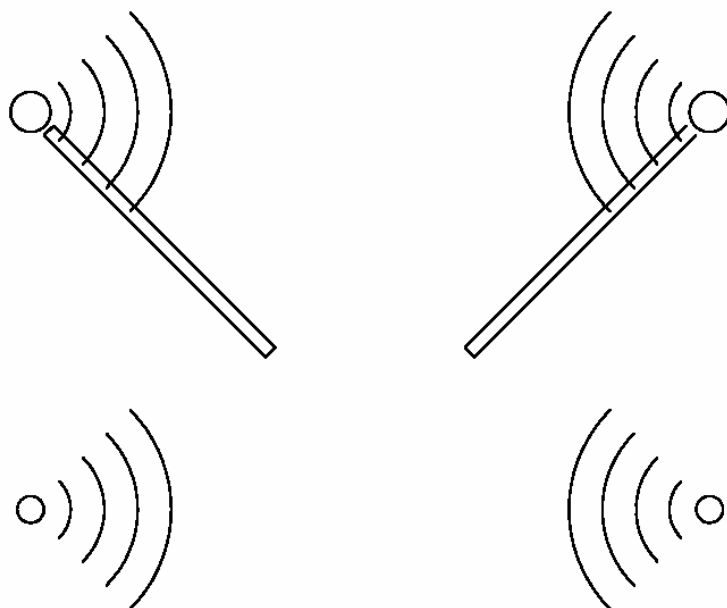
Pro bezpečný provoz každého typu automatických vrat je nutné zajistit vypnutí pohonu v případě, že nějaký předmět nebo dokonce člověk stojí v dráze otevírání / zavírání. Vratové systémy využívají fotobuňky spojené s řídící elektronikou pohonů.

Některé systémy využívající fotobuňky jsou znázorněny na obrázcích 2.7 a 2.8

Dalším opatřením, pro zvýšení bezpečnosti je snížení rychlosti pohybu vrat. Otevření vrat trvá přibližně 10-25 vteřin podle typu pohonu a jeho umístění. Na sloupek vrat se navíc umísťuje výstražný maják, který upozorňuje, že vrata jsou v pohybu.



Obr. 2.7 Umístění fotobuněk na křídlech



Obr. 2.8 Umístění fotobuněk na sloupcích a samostatných stojanech

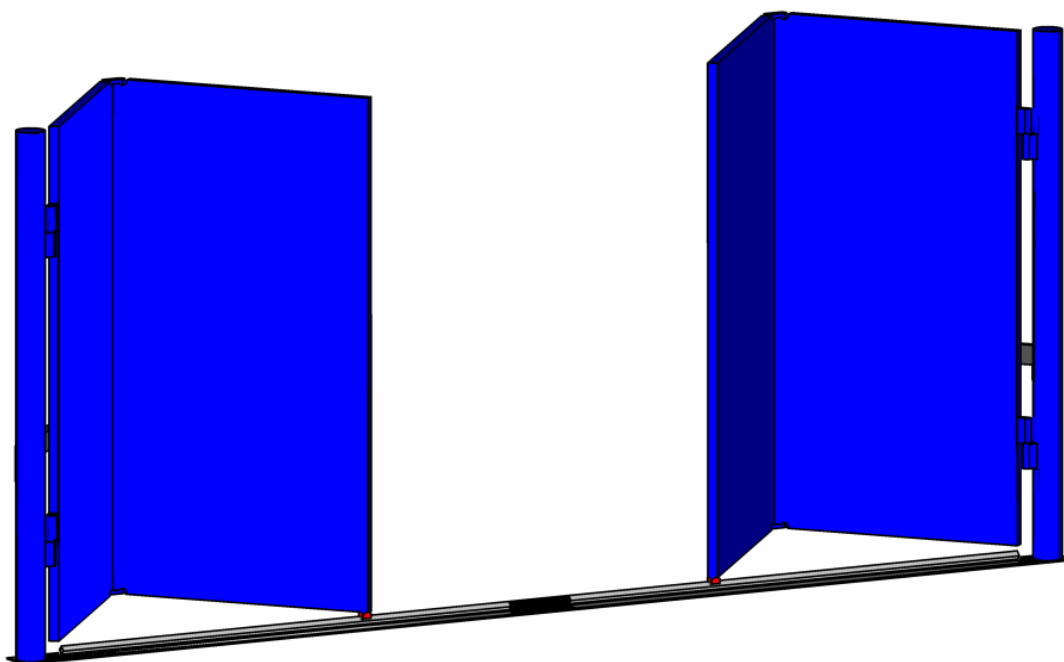
### 3. Koncepce

Po dohodě s konzultantem, byla zavrhnuta varianta rolovacích vrat, protože není známo v jaké výšce a zda vůbec bude vybudován tunel mezi budovami. Uvažován je průjezd nákladního vozidla, proto by výška vrat musela být alespoň 4 metry, což přináší problémy s hmotností samotných vrat. Tento typ vrat navíc vyžaduje boční vedení, které by v daném prostoru a při požadované výšce nebylo vhodné. Vyjmenované nevýhody stály za zamítnutím této varianty.

Z použitelných typů vrat zůstaly dvě varianty.

#### 3.1 Varianta č.1 - skládací vrata

Koncept této varianty je na obrázku 3.1. Křídlo vrat se skládá ze dvou částí spojených speciálními závěsy. Sloupek je klasický se dvěma závěsy. Tato varianta vyžaduje vedení, které udržuje vrata při pohybu ve správné poloze. Toto je však nevýhodné z hlediska umístění do terénu. Je potřeba zhotovit žlab, ve kterém bude vedení umístěno, aby nedošlo k poškození při průjezdu vozidel. Další nevýhodou je náročnější údržba a nutnost čištění vedení. Proto je toto řešení vhodné spíše pro vjezd do budovy, kde je možné umístit vedení u stropu. Toto řešení navíc vyžaduje speciálně upravený pohon a celkově je náročnější na výrobu i na finance. Výhoda tohoto systému je menší náročnost na prostor díky skládání křídla. Toto je vidět na obrázku 3.3.

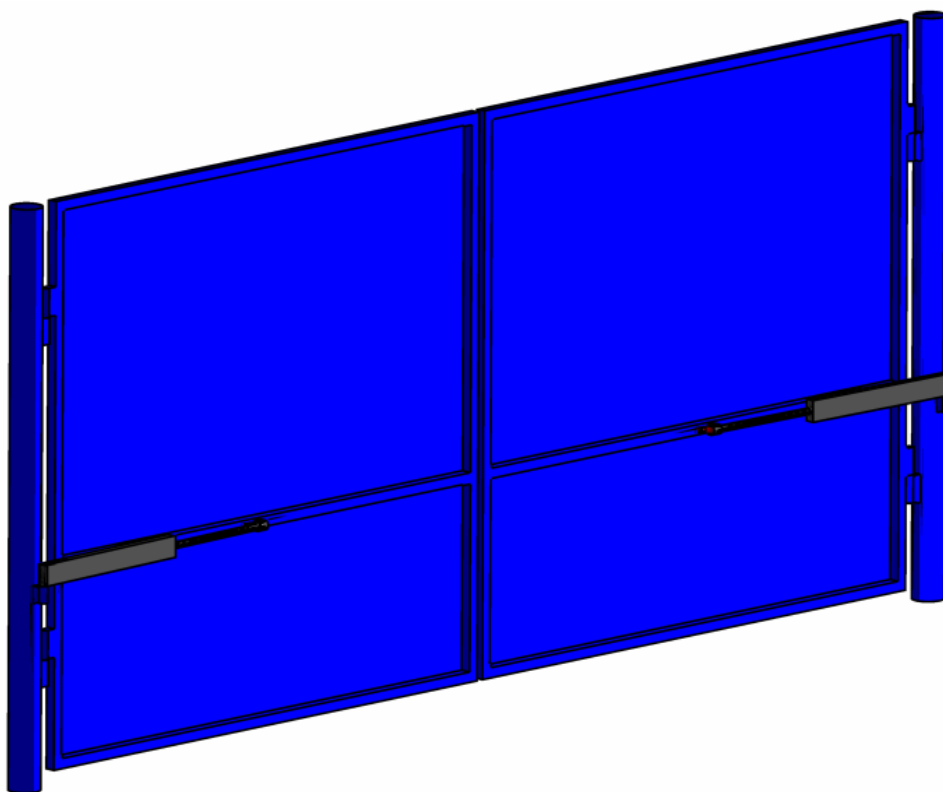


Obr. 3.1 Koncept skládacích vrat

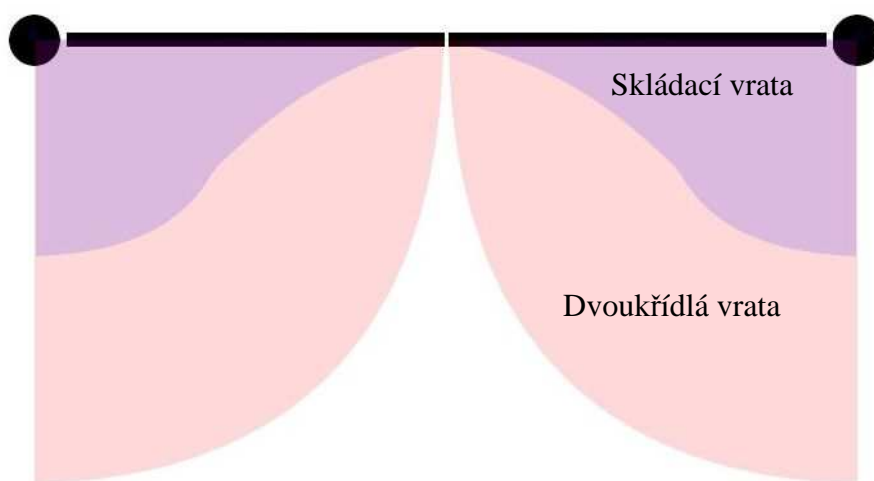


### 3.2 Varianta č.2 - dvoukřídlá vrata

Koncept této varianty je na obrázku 3.2. Jde o klasické řešení dvoukřídlých vrat se sloupkem a dvěma závěsy. Toto řešení je jednoduché, levné a dovoluje snadné připojení pohonů a automatizaci. Jedinou nevýhodou tohoto systému je větší prostor, který potřebují křídla k pohybu. Přesto byla po dohodě s konzultantem zvolena tato varianta spolu s pohonem s pohybovým šroubem.



Obr. 3.2 Koncept dvoukřídlých vrat



Obr. 3.3 Dráha otevírání dvoukřídlých a skládacích vrat.

## 4. Pevnostní výpočty

Všechny výpočty se vztahují ke zvolené variantě dvoukřídlých vrat. Dle přání konzultanta byl kladen důraz na zavěšení vrat a sloupek tak, aby vrata měla maximální životnost. Proto jsou tyto části předimenzovány. Vliv dynamiky byl zanedbán, protože vrata se otevírají relativně pomalu. Vzhledem k tomu, že vrata jsou plná a mají velký odpor vzduchu, bylo přihlédnuto k vlivu větru. Silnější vítr by mohl poškodit pohony.

### 4.1 Hmotnost a poloha těžiště křídla vrat

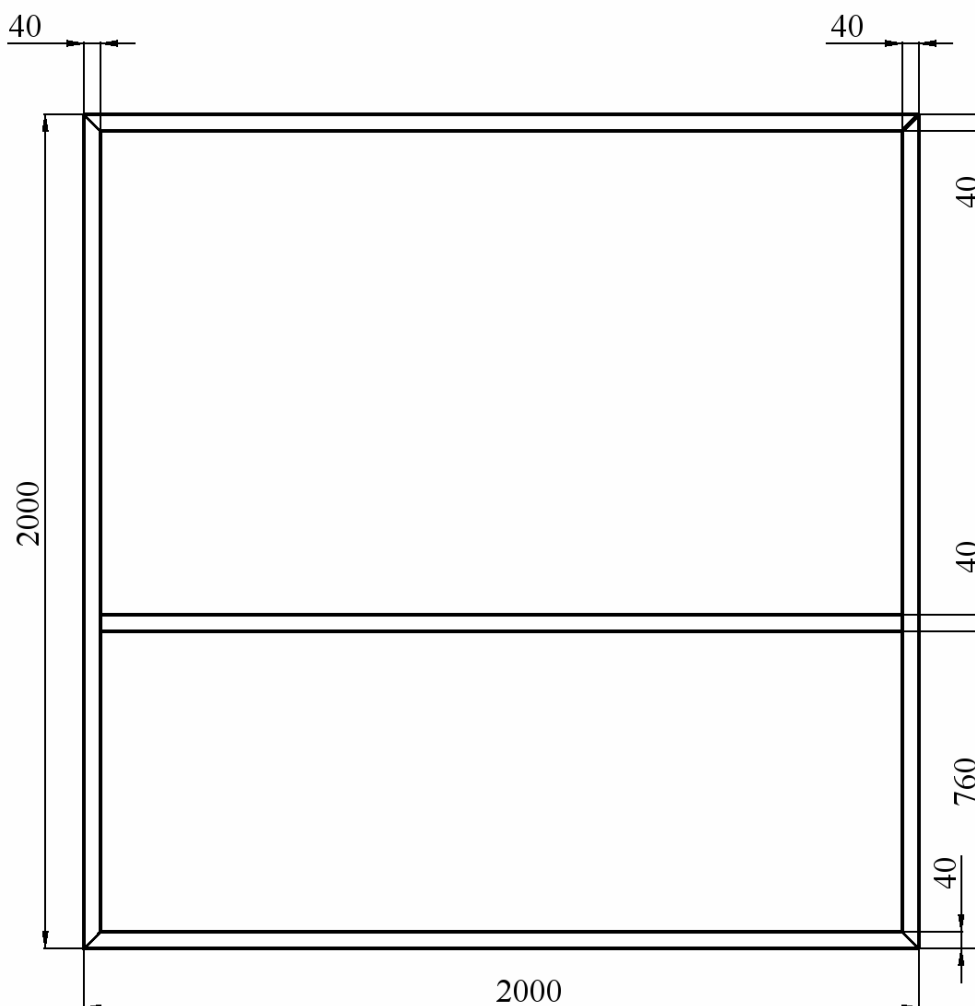
Konstrukce křídla vrat není předmětem řešení této práce. Proto byla navržena konstrukce bez pevnostní kontroly. Základ křídla tvoří rám ze čtyřhranných trubek s rozměry 40 x 3 z materiálu 11 373.0. Aby vrata splňovala podmínku zamezení výhledu do areálu, bude na rámu přivařen plech 2000 x 2000 x 2 rovněž z materiálu 11 373.0. Rozměry vrat jsou na obrázku 4.1.

Z daných rozměrů pak byla vypočtena poloha těžiště. V ose x, tedy vodorovné, je těžiště uprostřed, protože křídlo je symetrické. V ose y, tedy svislé, je pak poloha těžiště:

$$y_T = \frac{\sum_{i=1}^n y_{Ti} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{1000 \cdot 62,4 + 1000 \cdot 27,4 + 780 \cdot 6,7}{62,4 + 27,4 + 6,7} = 984,7 \text{ mm}$$

Hmotnost křídla je pak součet hmotnosti plechu a hmotnosti rámu. Hmotnost rámu je délka použitých trubek násobená hmotností na jeden metr trubky. Tato hodnota je podle [4] 3,49 kg / m.

$$m_k = m_p + m_r = 2000 \cdot 2000 \cdot 2 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} + 9760 \cdot 3,49 \cdot 10^{-3} = 62,4 + 34 = 96,4 \text{ kg}$$



Obr. 4.1 Rozměry křídla vrat

## 4.2 Síly působící na závěsy

Křídlo vrat působí na závěsy svou hmotností. Tato situace je vidět na obrázku 4.2. Vlivem nepřesnosti při výrobě bude svislou sílu zachycovat vždy jen jeden závěs. Tedy na jednom závěsu bude zachycena axiální i radiální síla, na druhém pouze radiální.

Výpočet reakcí:

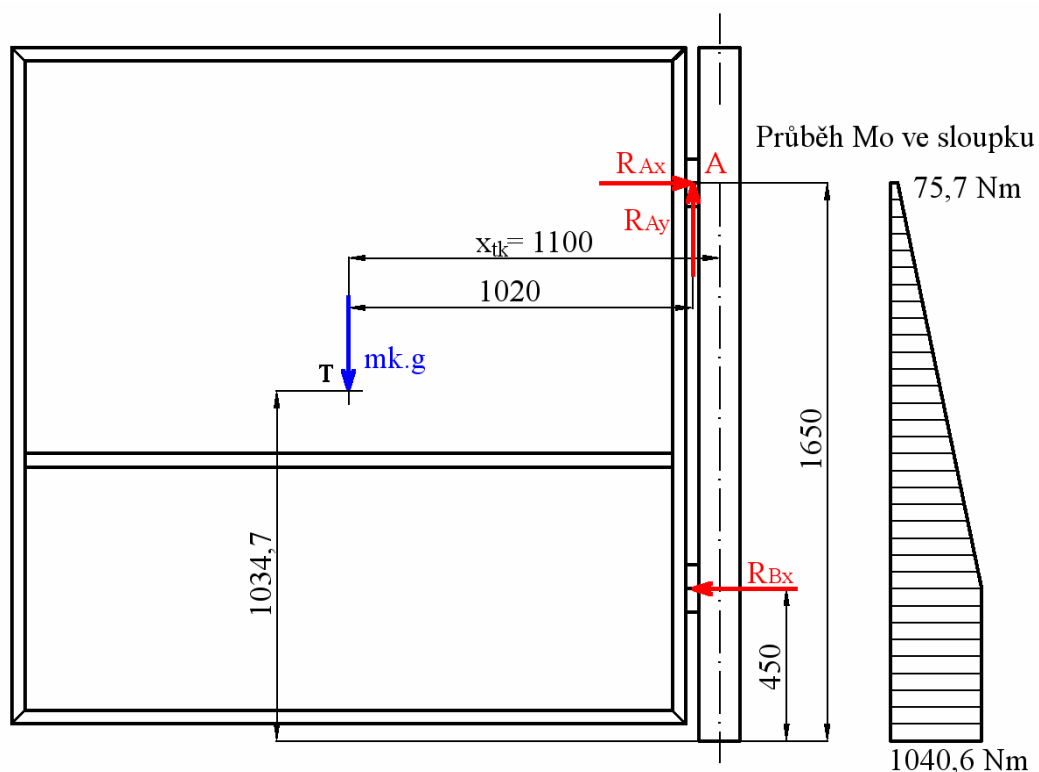
$$R_{Ax} = R_{Bx}$$

$$R_{Ay} = m_k \cdot g = 96,4 \cdot 9,81 = 946 \text{ N}$$

Suma momentů k bodu A

$$R_{Bx} \cdot 1200 = m_k \cdot g \cdot 1020$$

$$R_{Ax} = R_{Bx} = \frac{m_k \cdot g \cdot 1020}{1200} = \frac{96,4 \cdot 9,81 \cdot 1020}{1200} = 804 \text{ N}$$



Obr. 4.2 Rozložení sil působících na závěsy

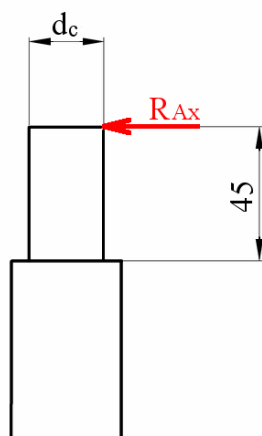
#### 4.2.1 Dimenzování závěsu

Pro dimenzování bude uvažován závěs, který je namáhán axiální i radiální silou. Pro návrh průměru čepu, je rozhodující radiální síla, jak je patrné na obrázku 4.3. Délka čepu byla navržena 45 mm podle konzultací a podobných závěsů v praxi. Závěs je rovněž z materiálu 11 373.0 s mezí kluzu podle [4]  $R_e = 235 \text{ MPa}$ . Koeficient statické bezpečnosti byl dle požadavku zvolen vyšší –  $k_s = 10$ .

Výpočet průměru čepu:

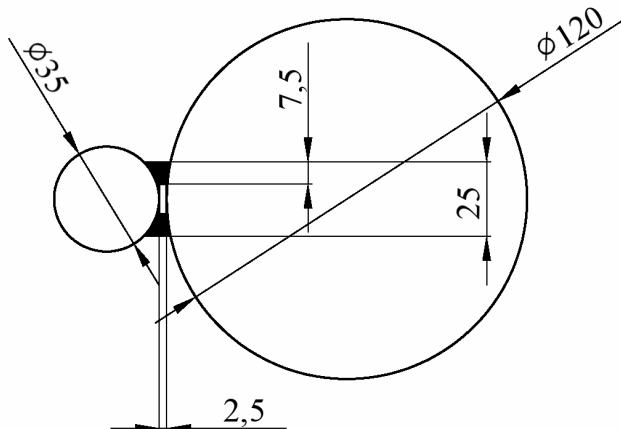
$$d_c = \sqrt[3]{\frac{R_{Ax} \cdot 0,045 \cdot 32 \cdot k_s}{\pi \cdot R_e \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{804 \cdot 0,045 \cdot 32 \cdot 10}{\pi \cdot 235 \cdot 10^6}} = 0,0251 \text{ m} \cong 25,1 \text{ mm}$$

Průměr čepu závěsu byl zvolen  $d_c = 25 \text{ mm}$ .



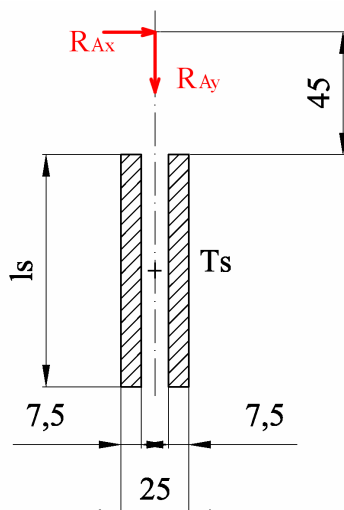
Obr. 4.3 Radiální síla působící na závěs.

Pro výpočet délky závěsu je nejdříve nutné stanovit velikost svaru, kterým bude závěs přivařen. Jelikož bude závěs přivařen tečně ke křídlu i ke sloupku, byla velikost svaru navržena graficky viz obrázek 4.4. Průměr závěsu pro přivaření byl zvolen 35 mm podle podobných závěsů používaných v praxi. Mezi závěsem a sloupkem bude vložena podložka z plechu s průřezem 10 x 2,5 mm. Velikost svaru je pak  $a = 7,5$  mm.



Obr. 4.4 Stanovení velikosti svaru grafickou metodou.

Po návrhu velikosti svaru je možné navrhnout délku závěsu pro přivaření. Započtena je jak radiální, tak axiální síla a výpočet je proveden pro otevřená vrata, protože při otevřených vratech má nosný průřez svaru menší modul v krutu. Tato situace je na obrázku 4.5. Délka svaru byla navržena podle podobných závěsů v praxi  $l_s = 60$  mm.



Obr. 4.5 Působení sil na závěs, při otevřených vratech a průřez svaru.

Radiální síla  $R_{Ax}$  vyvolává krouticí moment roven:

$$M_{ks} = R_{Ax} \cdot \left(0,045 + \frac{l_s}{2}\right) = 804 \cdot \left(0,045 + \frac{0,06}{2}\right) = 60,3 \text{ Nm}$$

Tento moment pak podle [4] způsobí napětí:

$$\tau_s = \frac{M_{ks}}{Wk} = \frac{60,3}{\frac{0,025^2 \cdot 0,06^2}{3 \cdot 0,06 + 1,8 \cdot 0,025} - \frac{0,01^2 \cdot 0,06^2}{3 \cdot 0,06 + 1,8 \cdot 0,01}} = 7,4 \text{ MPa}$$

Axiální síla působí na raměně rovném poloměru čepu a vyvolává tak ohybový moment.

$$M_{os} = R_{Ay} \cdot \frac{D_c}{2} = 946 \cdot \frac{0,035}{2} = 16,6 \text{ Nm}$$

Tento moment způsobí napětí:

$$\sigma_s = \frac{M_{os}}{W_o} = \frac{16,6 \cdot 6}{0,025 \cdot 0,06^2 - 0,01 \cdot 0,06^2} = 1,85 \text{ MPa}$$

Axiální síla pak způsobí napětí:

$$\sigma_{sA} = \frac{R_{Ay}}{2 \cdot a \cdot l_s} = \frac{946}{2 \cdot 0,0075 \cdot 0,06} = 1,05 \text{ MPa}$$

Potom redukované napětí ve svaru je podle [1]:

$$\sigma_{reds} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_s}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{sA}}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\alpha_\tau}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,85}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{1,05}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{7,4}{0,65}\right)^2} = 11,73 \text{ MPa}$$

Vzhledem k mezi kluzu  $Re = 235 \text{ MPa}$  je pak bezpečnost:

$$ks_s = \frac{Re}{\sigma_{reds}} = \frac{235}{11,73} = 20$$

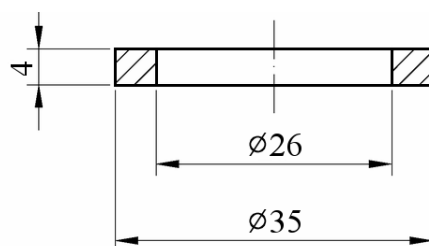
Délka svaru byla stanovena pro přivaření ke sloupku, kde je závěs přivařen s menším průřezem a je namáhán méně příznivě, proto může být stejná délka použita i pro pouzdro závěsu.

Pro snížení tření v závěsu bude mezi čep a pouzdro vložen bronzový kroužek. Jeho rozměry jsou na obrázku 4.6 Tento byl zkontrolován na tlak.

Dovolený tlak je i se započtenou bezpečností volen podle [1], [2] a odhadu 15 MPa.

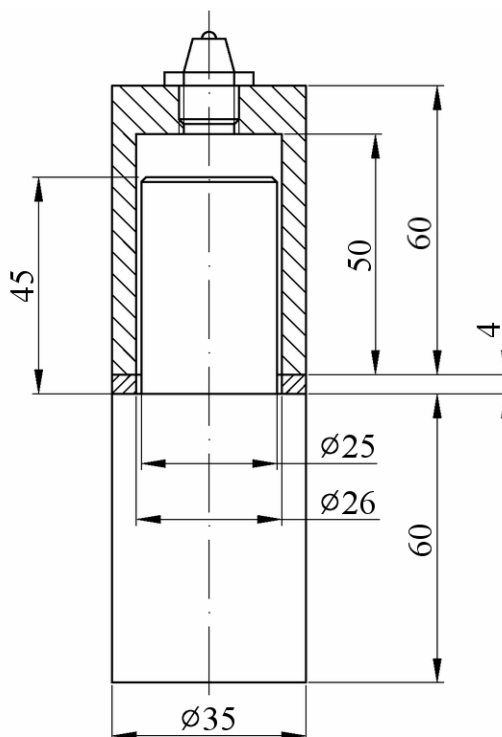
$$p_k = \frac{R_{Ay}}{S_k} = \frac{R_{Ay}}{\frac{\pi \cdot (D_k - d_k)^2}{4}} = \frac{946}{\frac{\pi \cdot (35 - 26)^2}{4}} = 14,9 \text{ MPa}$$

Kroužek tedy vyhovuje.



Obr. 4.6 Rozměry bronzového kroužku

Pro lepší možnost mazání závěsů, je na pouzdro umístěna maznice, která usnadňuje údržbu závěsů a umožňuje jejich tichý chod. Výsledný tvar závěsu je na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Výsledný tvar a rozměry závěsu

### 4.3 Síly působící na sloupek

Na sloupek vrat působí přes závěsy hmotnost křídla. Ta zatěžuje sloupek ohybovým momentem (viz obr. 4.2), který je dán vztahem:

$$M_o = m_k \cdot g \cdot x_{tk} = 96,4 \cdot 9,81 \cdot 1,1 = 1040,6 \text{ Nm}$$

#### 4.3.1 Dimenzování sloupku

Kritické místo sloupku je v přechodu do betonáže. Sloupek je tvořen trubkou s vnějším průměrem 120 mm. Tento průměr byl zvolen z designového hlediska tak, aby sloupek nebyl příliš tlustý nebo naopak příliš štíhlý. Sloupek je z materiálu 11 373.0 s mezí kluzu podle [4]  $R_e = 235 \text{ MPa}$ . Vzhledem k podmínce předimenzování byl zvolen koeficient statické bezpečnosti  $k_s = 10$ . Potom vnitřní průměr trubky bude:

$$d_s = \sqrt[4]{D_s^4 - \frac{32 \cdot D_s \cdot M_o \cdot k_s}{R_e \cdot \pi}} = \sqrt[4]{0,12^4 - \frac{32 \cdot 0,12 \cdot 1040,6 \cdot 10}{235 \cdot \pi \cdot 10^6}} = 0,111 \text{ m} = 111 \text{ mm}$$

Zvolena byla trubka 120 x 5 mm, což ještě zvyšuje bezpečnost.

### 4.4 Uchycení pohonu

Pohon bude umístěn na plechu, přivařeném ke sloupku a na držáku, přišroubovaném ke křídlu. Toto je zachyceno na obrázku 4.8. Rozměry jsou voleny dle doporučení výrobce.

Cílem je zkontrolovat délku svaru, kterým bude plech přivařen ke sloupku a velikost šroubů, kterými bude připevněn držák pohonu ke křídlu.

Nejdříve je nutné zkontrolovat, zda zvolený pohon je schopen vrata otevřít.

Zvolen byl pohon EURO BAT 300 podle [8]. Tažná síla pohonu je  $F_p = 3500 \text{ N}$ . Pro navržené umístění pohonu se tažná síla rozloží dle obrázku 4.8. Síla  $F_{py}$  je rovna:

$$F_{py} = F_p \cdot \sin \alpha_p = 3500 \cdot \sin 5,13^\circ = 313 \text{ N}$$

Pohon je tak pro otevření schopen vyvolat krouticí moment dle vztahu:

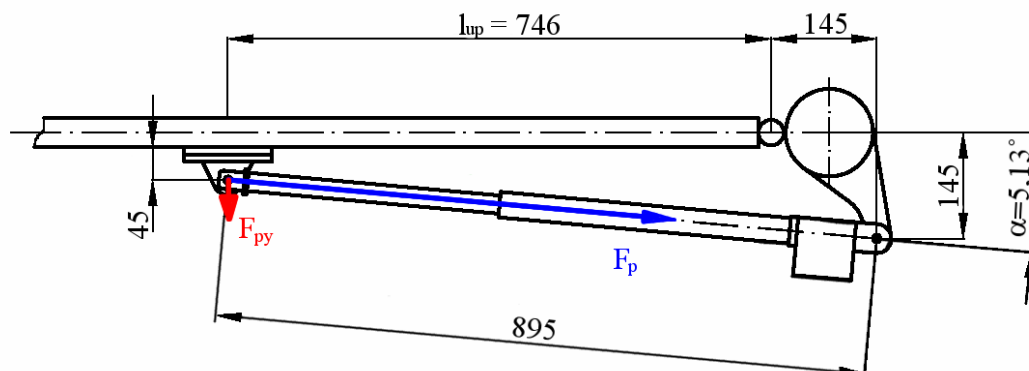
$$M_{kp} = F_{py} \cdot l_{up} = 313 \cdot 0,746 = 233,5 \text{ Nm}$$

Koeficient tření mezi závěsem a kroužkem byl volen podle [4] z rozsahu 0,11 – 0,15 pro suché tření. Zvolen byl  $f_z = 0,15$ . Pak třecí moment v závěsu odpovídá vztahu:

$$M_{tz} = R_{Ay} \cdot \frac{(D_k + d_k)}{2} \cdot f_z = 946 \cdot \frac{(0,035 + 0,026)}{2} \cdot 0,15 = 4,3 \text{ Nm}$$

Je tedy vidět, že zvolený pohon vyvolá mnohonásobně vyšší krouticí moment než je třecí moment v závěsu a je schopen vrata otevřít. Moment setrvačnosti je vzhledem k malému zrychlení při pohybu vrat zanedbatelný.





Obr. 4.8 Umístění pohonu a rozložení tažné síly pohonu

#### 4.4.1 Kontrola délky svaru plechu

Na svar, kterým bude plech připojen ke sloupku působí ohybový moment vyvolaný hmotností pohonu a hlavně pak tažná síla pohonu. Hmotnost pohonu je 6 kg a vyvolaný moment je zanedbatelný. Proto byla uvažována jen tažná síla pohonu.

Pro přivaření byl zvolen koutový svar velikosti  $a_{sp} = 3$  mm. Plech bude přivařen z obou stran. Délka svaru je  $l_{sp} = 155$  mm a byla volena z designového hlediska. Tečné napojení je estetické a nabízí i velmi dobrou délku svaru.

Koeficient statické bezpečnosti je pak:

$$k_{s_{sp}} = \alpha \cdot \frac{Re}{\frac{F_p}{2 \cdot l_{sp} \cdot a_{sp}}} = 0,85 \cdot \frac{235}{\frac{3500}{2 \cdot 155 \cdot 3}} = 53$$

Délka svaru tedy s vysokou bezpečností vyhovuje.

#### 4.4.2 Výpočet velikosti šroubů

Držák pohonu bude ke křídlu připojen dvěma šrouby. Tyto musí přenést tažnou sílu pohonu. Jejich umístění je patrné na obrázku 4.9. Tažná síla sice vyvolá i ohybový moment, ten je ale zanedbatelný, proto je uvažována pouze tahová síla pohonu.

Koeficient tření mezi křídlem vrat a držákem byl volen podle [4] z rozsahu 0,15 - 0,2. Zvolen  $f_{zd} = 0,2$ .

Osová síla ve šroubu je pak:

$$F_o = \frac{F_p}{2 \cdot f_{zd}} = \frac{3500}{2 \cdot 0,2} = 8750 \text{ N}$$

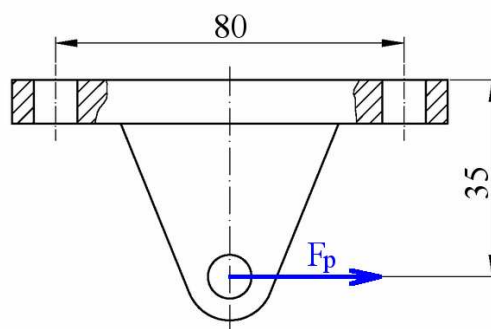
Zvolen byl šroub pevnostní třídy 8.8 a mez kluzu je tedy  $R_e = 640 \text{ MPa}$ .

Součinitel přidavného krutového napětí byl zvolen podle [1]  $\beta_k = 1,3$  a součinitel bezpečnosti šroubového spoje byl zvolen  $k_{s_s} = 4$ .

Potom potřebný malý průměr závitu je:

$$d_3 = \sqrt{\frac{F_o \cdot \beta_k \cdot k_{s_s} \cdot 4}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{8750 \cdot 1,3 \cdot 5 \cdot 4}{\pi \cdot 640}} = 9,51 \text{ mm}$$

Zvolen byl šroub M12 s malým průměrem závitu  $d_3 = 9,853 \text{ mm}$ .



Obr. 4.9 Umístění šroubů na držáku

#### 4.5 Vliv větru

Protože vrata jsou plná a mají velký odpor vzduchu, je nutné přihlédnout i k povětrnostním podmínkám. Síla vyvolaná odporem vzduchu je spočtena dle vztahu:

$$F_v = C_x \cdot S_k \cdot \rho_v \cdot \frac{v_v^2}{2}$$

Pokud tedy bude tato síla působit v těžišti, nesmí vyvolat větší krouticí moment než jaký je schopen vyvolat pohon. Proto maximální rychlost větru, při kterém pohon může pracovat je:

$$v_v = \sqrt{\frac{2 \cdot F_{py}}{C_x \cdot S_k \cdot \rho_v \cdot k_s}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 313}{1,1 \cdot 4 \cdot 1,1 \cdot 1,5}} = 9,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vrata by tedy neměla být otevírána za větru silnějšího než  $9,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při této hodnotě nebude pohon schopen vrata otevřít. Tato situace však nastane pouze v případě, kdy vítr bude foukat ve směru ven z areálu. Při tomto směru jsou však vrata částečně kryta budovami a proto by vítr neměl mít takovou rychlost.

## 5. Závěr

Výsledkem této práce jsou dvoukřídlová automatická vrata se zavěšením na ocelových sloupcích. Zavěšení je provedeno pomocí dvou závěsů. Sloupky i závěsy jsou předimenzovány podle požadavků tak, aby vrata měla dlouhou životnost. Ta bude zajištěna i pravidelnou údržbou a prováděním nátěru konstrukce vrat dle potřeby.

Závěsy jsou opatřeny maznicí pro jejich snadné mazání. Závěsy by měly být pravidelně mazány, aby byl zajištěn jejich tichý chod a bezproblémové otevírání.

Pro konstrukci byly využity standardní hutní polotovary, aby byly co nejnižší pořizovací náklady a veškerý materiál potřebný k výrobě byl snadno k dostání.

Zvolené pohony spolu s řídicí elektronikou umožňují dálkové otevírání vrat i manuální otevření po odblokování pohonů klíčem. Toto je vhodné například při výpadku proudu. V klidovém stavu pohony blokují otevření vrat, proto není nutné na vrata instalovat zámky.

Závěrem bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Honkovi za jeho připomínky během řešení této práce.

Příloha obsahuje:

- Celkovou sestavu automatických vrat č.v.: BP – 00 – 0
- Podsestavu levého křídla vrat č.v.: BP – 00.01 – 0

## 6. Seznam použité literatury

- [1] KALÁB K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací.* VŠB – TU OSTRAVA, Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [2] KALÁB K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů.* VŠB – TU OSTRAVA, Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [3] HORYL P.: *Statika a dynamika.* VŠB – TU OSTRAVA, Ostrava, 2006. ISBN 80-248-0509-X.
- [4] LEINVEBER J., VÁVRA P.: *Strojnické tabulky.* ALBRA, Úvaly, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
  
- [5] Automated Control Services Dostupné na WWW: <[www.automatedcontrolservices.co.uk](http://www.automatedcontrolservices.co.uk)> [cit. 17.02.2009]
- [6] Trido s.r.o. Dostupné na WWW: <[www.trido.cz](http://www.trido.cz)> [cit. 24.02.2009]
- [7] Interczech s.r.o. Dostupné na WWW: <[www.interczech.cz](http://www.interczech.cz)> [cit. 2.03.2009]
- [8] Dexet s.r.o. Dostupné na WWW: <[www.dexet.cz](http://www.dexet.cz)> [cit. 12.04.2009]